

與會報導 地工技術第 41 次工程地質研討會

恆春半島～台灣島的前世今生

吳文傑¹ 黃柏鈞² 林榮潤³ 吳章諾⁴ 整理

一、前言

地工技術從2016年起，開始啟動工程地質十大路線，至今十條路線即將全數舉辦過，恆春野外是規劃的其中一條，原本預定為南迴路線(台東往恆春墾丁)，辦過的路線依序為：1.板塊運動的見證～海岸山脈(台23線)；2.變動的大地～浴火重生南台灣工程巡禮；3.崩塌地蘊育的神木群～鎮西堡、4.縱橫脊梁山脈賞地質～山月吊橋、中橫、合歡、武嶺與廬山；5.雪山尾稜～東北角海岸地質、6.綜覽花東岸·朝聖阿朗壹。

本次路線底定之後，何樹根總工程師和當時地工技術的青年軍們選定日期並開始預跑路線。青年軍會針對規畫路線再精進，同時也編寫、修改手冊。大致上，路線的內容可分為地質以及工程方面，地質露頭包含了長時間存在的露頭，或是某次事件造成的新露頭。而工程則包含現存的工程，以及正在興建的工程項目。因此，實際籌辦本次工程地質研討會野外，重新思考停駐點的安排，行程上加入較輕鬆的參觀行程，在2022年成功地完成恆春半島的野外。

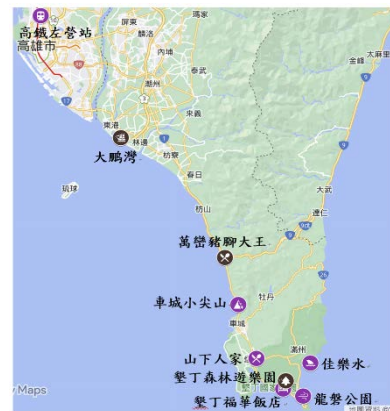
恆春半島野外，最終邀請中國文化大學地質學系的吳樂群老師，他是經驗豐富的地質學家，已經超過六十歲的年紀，預計明年二月退休。吳老師年輕的時候每年都會自己帶學生去恆春半島出野外，對恆春半島相當了解，即便沒有和工作小組一起預跑路線，光看路線停駐點規劃就有信心能帶領大家欣賞恆春半島的地質之美，並且協助完成野外的手冊。

恆春半島的兩天一夜的活動，許多人從北、中部南下，舟車勞頓，與會者年齡分布從二十幾歲到七十幾歲。因此，工作小組安排了較為寬鬆的行程，並加上大鵬灣國家風景區，搭船的行程，希望大家能好好享受富含地質、工程、生態的二日行程。

二、活動行程與內容

恆春半島的工程地質研討會於2022年9月23、24日，週五週六兩天舉行，避開墾丁周末的人潮。一開始於左營高鐵站，在9點15分高鐵站二樓星巴克集合，建議大家搭乘高鐵109車次，到達左營站是9點5分。

在集合地點等待大家到齊就將行李放在遊覽車上，準備出發。遊覽車從市區開上國道十號，往南接上國道一號，轉88快速道路後再接國道三號，接著走屏鵝公路一直往墾丁方向，第一個停駐點是車城小尖山，中午至恆春鎮午餐，再從縣道200至佳樂水風景區，隨後往南走佳鵝公路至龍磐公園，再經台灣最南點到墾丁。隔天早上結束墾丁森林遊樂園的停駐點後，屏鵝公路往北，午餐過後繼續往北到大鵬灣風景區。所有停駐點顯示在地圖上，如圖一所示；表一為恆春半島野外的行程表。



圖一 2022年恆春半島工程地質研討會所有停駐點 (google map)

表一 停駐點及考察與討論重點列表

日期	地點	探討重點
2022 9.23	停駐點1：車城小尖山	墾丁層、落石防護
	停駐點2：佳樂水風景區	深海濁流岩、鮑馬序列
	停駐點3：龍磐公園	海蝕作用、崩崖地形
	停駐點4：關山	恆春西台地、恆春石灰岩
工程地質研討會		
2022 9.24	停駐點5：墾丁森林遊樂區	喀斯特地形
	停駐點6：大鵬灣風景區	潟湖、紅樹林

¹文化大學地質系 ²黃柏鈞應用地質技師事務所 ³中興工程顧問社 ⁴中興工程顧問(股)公司

三、停駐點一：車城小尖山

車城小尖山為位屏鵝公路12.1公里，往墾丁方向路旁有一停車的空間，剛好路對面是車城小尖山(圖二)。在前往停駐點一的路上，與會者先不免俗的自我介紹，比較難得的是，地工技術創刊元老歐晉德、李建中博士帶著夫人們一起共襄盛舉！歐晉德博士還透漏，當年他就是搶救車城小尖山邊坡的其中一位工程師。此停駐點由吳文傑老師介紹、吳樂群老師補充說明，與會者們就在公路的另一側，觀察車城小尖山的形狀、邊坡穩定的工法和幾個大的岩塊。

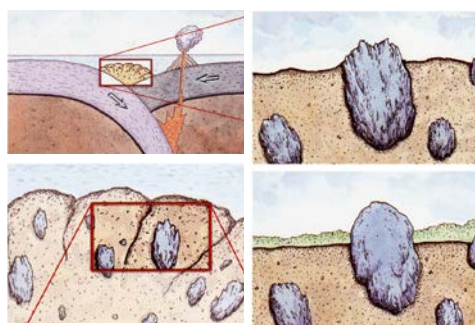
車城小尖山在地質上，地層屬於墾丁層且屬於墾丁層內的外來岩塊，主要組成為火山碎屑層與玄武岩熔岩流。西側山坡有二突出的岩塊，樣貌類似猴子的臉，故又稱猴面小尖山或是猩猩石。若走近猩猩石，路邊有幾塊巨大的落石，觀察後辨認是火山角礫岩。一般而言，墾丁層缺乏明顯的地層層理，地層裡岩石種類包含：海洋地殼物質的岩塊、沉積岩的岩塊及受剪動的深海泥質沉積物。墾丁層的其中一個特徵為破碎岩塊的岩石種類及體積差異極大，並且岩塊與細粒的泥質沉積物一起受到擠壓變形(圖三)。

車城小尖山的邊坡因1982年屏鵝公路道路拓寬而進行開挖，並以擋土牆支撐。在颱風季節，擋土牆受颱風侵襲後毀壞。搶修過程中，施工單位將舊的擋土牆完全移除，坡體開始產生進一步的變形，引致邊坡產生更嚴重的滑移。後續，維修單位為了掌握地表下的地質條件，設置了四個鑽孔，其中兩孔斜鑽深入邊坡以調查地錨補強之可行性(圖四)(台大工程地質講義)。另外，根據地質調查，小尖山可能是從凝灰質角礫岩中擠出的枕狀熔岩流。其後有四道的潛在滑動面，且滑動面有通過擋土牆的基礎(圖四)。調查後發現，小尖山節理發達，可分為13塊大的岩塊(圖五)。邊坡整治分兩個方向，一是降低邊坡的滑動潛勢，另一則是確保關鍵岩塊(編號2、5、6、7)的穩定性。

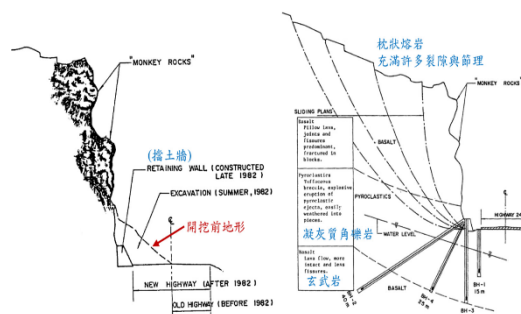
結束第一停駐點後，在遊覽車上，歐晉德博士聊他以前被任命前往車城小尖山搶救邊坡的過程，分享寶貴經驗和以前的故事。行程有點延遲，一行人立即前往恆春鎮山下人家用餐，隨後遊覽車轉至縣道200前往佳樂水風景區。



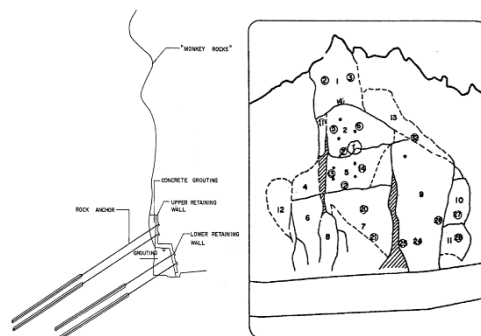
圖二 相隔屏鵝公路觀察車城小尖山



圖三 墾丁層的形成過程(王，2000)



圖四 車城小尖山開挖前後地形(左圖)，以及地質條件與可能滑動面(右圖)



圖五 採取的穩定坡體措：地錨(左圖)以及小尖山岩塊正面分布圖(右圖)

四、停駐點二：佳樂水風景區

到達佳樂水時，約莫下午兩點，如果全程走完加上解說，可能會達兩個小時，因此這次只停留在最靠入口的露頭，主講人黃柏鈞博士先介紹這裡的地質背景，吳樂群老師再接著補充說明。

佳樂水風景區的地層就是稱為樂水層，或是樂水砂岩，屬於濁流岩，沉積機制可能為高濃度濁流在斜坡下沉積而成(Hiscott and Middleton, 1979)，出露的厚度大概是1500公尺(陳文山等人，1985)，根據濁流岩石的波馬序列可辨別各岩層段的沉積環境(Bouma et al., 1962)，沉積環境應屬於大陸邊緣斜坡至深海的沖積扇沉積(陳等人，1985)。

在現場隨處都是塊狀砂岩的出露，便隨明顯的波痕，以及發達的節理(圖六)。塊狀砂岩之中或之上經常伴隨碟狀構造或脫水構造，是由於顆粒流攜帶沈積物沈積時，內部常有大量孔隙水，當上部沈積物逐漸增厚時，孔隙水受壓往上脫逃而產生碟狀構造或脫水構造(陳等人，1985；圖七)，最後大家在入口處留影大合照(圖八)。

五、停駐點三：龍磐公園

遊覽車從佳樂水往南，大家看到很大一片大草原，就是在龍磐公園附近了。此停駐點由林榮潤博士講解崩崖形成的原因，吳樂群老師補充說明此處紅土的來源，關鍵提到為何隆起石灰岩上會覆蓋紅土，並在此處留影大合照(圖九)。

龍磐公園的崩崖地形是海浪侵蝕、雨水溶蝕與重力作用下，隆起珊瑚礁石灰岩構成的海蝕崖崩坍的現象，此區可觀察到不同階的崩崖以及坡腳的崩積材料。龍磐公園崩崖成因：1. 原厚層珊瑚礁石灰岩存在之節理將珊瑚礁分割成大岩塊；2. 加上雨水會沿垂直節理滲入，進行溶蝕作用擴大節理；3. 最外層之岩塊，在重力及海浪營力向外側崩落，堆積在坡腳；4. 較內側之岩塊出露在外後又重覆上述的作用，造成了龍磐崩崖地形。龍磐即是恆春半島典型的崩崖景觀。

六、停駐點四：關山

關山是第一天的最後一個停駐點，在墾丁的西側，位於恆春西台地之上。高山巖福德宮前有一小廣場，視野極佳，向東遠眺把墾丁混同層裡的各個大型岩塊盡收眼底(圖十)，右邊從帆船石、青蛙石、大圓山……一直到最左邊的三臺山、虎頭山。



圖六 塊狀砂岩、波痕和正交節理



圖七 砂岩中碟狀構造或脫水構造



圖八 佳樂水大合照



圖九 龍磐公園大合照



圖十 恆春西台地向東遠眺墾丁層裡的巨大岩塊

恆春半島和恆春西台地在地質上的意義可以說明台灣島的前世今生，原本台灣本島也是在海底下的增積岩體，經過長時間的抬升露出海面，最後形成中央山脈貫穿的台灣島。中央山脈向南延伸於恆春半島(東側)，而西側為向東傾斜的恆春西臺地(圖十一)，而介於二者之間狹長的谷地是恆春縱谷，縱谷東緣與東半部山地的界線則是恆春斷層。從更為宏觀的地體構造觀點，恆春半島屬於南中國海板塊(i.e., 歐亞板塊前緣)隱沒菲律賓海板塊時形成的增積岩體，是未出露水面增積岩體中，呈南北走向的山脊—恆春海脊在陸上的延伸。

關山選作第一天最後一個停駐點也是因為關山有非常著名的夕陽，九月的天氣非常好，如果沒有颱風干擾，預計是有夕陽美景。關山也曾經當上國際，關山的夕陽曾被CNN選為世界十二大夕陽美景之一，天公作美，讓第一天的行程畫下完美的句點。

七、工程地質座談會

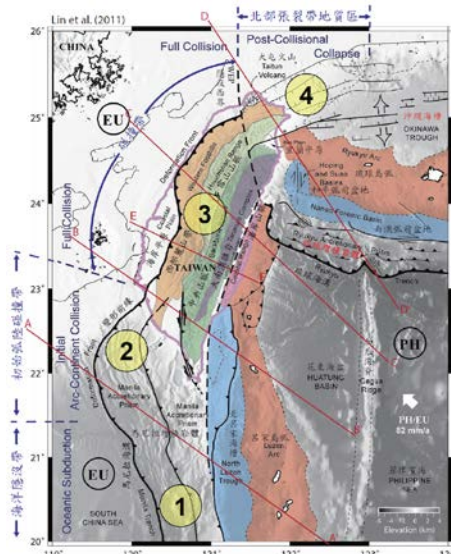
第一天晚上的工程地質座談會，領隊蘇鼎鈞副總擔任主持人，由吳樂群老師有系統的介紹恆春半島地作，根據第一天的行程，與會者們更能想像不同停駐點的時空背景，溫故知新，並探討台灣島的前世今生。每次聽吳老師講解都覺得十分有趣，大家聽得陶醉，吳樂群老師更是一開口就停不下來。最後時間的關係結束餐前座談會的短講，並頒感謝狀給參與的工作人員和吳樂群老師。

說起台灣的前世今生，可以使用台灣板塊構造與地質分區，以及對應的地質剖面講解，讓與會者們更能想像台灣島的形成(圖十二; Teng, 1990; Lin, 2011; 鄧, 2002)。

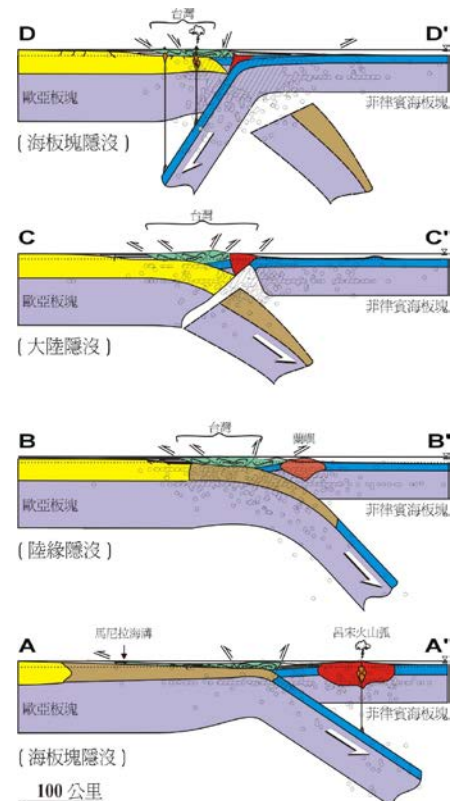
台灣島及區域從南是馬尼拉增積岩體(i.e., 如同海洋隱沒帶的構造)，往北是恆春半島(i.e., 如同初始的弧陸碰撞帶)，到台灣島中間是中央山脈主體(i.e., 碰撞帶)，到最北邊是台北盆地和宜蘭平原(i.e., 北部張裂帶地質區)。如果以四個剖面觀察(圖十三)，由南到北的剖面就像是台灣島形成的縮影，一開始歐亞板塊邊緣隱沒至菲律賓海板塊底下，BB'剖面是弧陸剛開始碰撞，增積岩體開始浮上海面，



圖十一 從關山往北遠眺恆春西台地的地形



圖十二 台灣板塊構造與地質分區



圖十三 板塊隱沒與地震分布圖(鄧, 2002)

CC'剖面是完整的碰撞，DD'剖面是顯示張裂帶的環境。因此，從現今台灣從南到北的地質構造與剖面，就是推敲恆春半島幾百萬年後可能會是甚麼狀態，恆春半島就是處於成熟台灣島和增積岩體的過度區域，所以恆春半島的地質會與台灣其他地區稍微不同，在恆春半島才能觀察得到的石灰岩地形，石灰岩原本多半是珊瑚礁，珊瑚礁的成長環境在乾淨溫暖的淺海區域，說明這是原本增積岩體上，最淺部的沉積。往地底下深部，可以預測的是，地層會類似中央山脈區域不同程度的變質岩。

結束精彩的短講之後，主持人蘇副總宣布進入晚宴階段，每個人已經磨刀霍霍的準備大開朵頤，在地質、工程、酒精的催化下，探討非常熱絡。待晚宴結束之後，有人提議前往飯店對面的酒吧續攤，繼續聊天文地理，好不開心。

八、停駐點五：墾丁森林遊樂園

第二天用完早餐就馬上出發前往墾丁森林遊樂園。在墾丁森林遊樂園都是礁石，這些隆起的珊瑚礁石灰岩為更新世地層，是以珊瑚蟲的骨骼為基本架構，是數十萬年來在恆春半島周圍生長、堆積的珊瑚礁，台灣其他地方很難遇見。這些由石灰岩組成的抬升台地，由於受到構造活動與海進海退的關係，及長期的雨水沖刷和地下水侵蝕，便形成落水洞、地下河、裂溝、陷穴及鐘乳石等石灰岩溶岩地形。墾丁森林遊樂園裡包含了：石筍寶穴、仙洞、棲猿崖、第一峽、一線天、垂榕谷等喀斯特地形地貌。園區除了喀斯特地形外，生態也相當豐富，園區的前身是日治時期設立的「恆春熱帶植物園」，若是走植物漫遊的路線，沿途會經過茄苳巨木、花樹溫室和全台最大的銀樹板根。當天石筍寶穴未開放，無緣近距離觀察巨大石筍。

一開始先抵達遊客中心，接著往上走花樹小徑，首先抵達的是仙洞，是一大的溶洞(圖十四)，走進可以看到石灰岩融化在結晶的狀況、鐘乳石以及些許明顯的殘存珊瑚礁。繼續往前走，棲猿崖是一陡直峭壁的石灰岩地形，常常有獼猴棲息在那而命名，第一次見到覺得非常壯觀。在其間，歐晉德博士認真記錄所聽所聞(圖十五)，並分享以前自己在國外的工程遇到



圖十四 與會者進入仙洞情形



圖十五 與會者們仔細聆聽與紀錄地質解說

石灰岩，因為石灰岩溶化再結晶作用，那時候煩惱要怎麼給石灰岩的工程參數。寶貴的經驗分享，讓與會者更能融入工程地質的真實情境。

與會者們到達地質路線中海拔最高的景觀—第一峽，是石灰岩沿著垂直節理長時間溶蝕而成，以及下一個地質景觀～一線天，形成皆是雨水長時間溶蝕的結果。與會者在此討論這些一線天的地貌是否與大區域的應力方向有關。如果大範圍調查、統計這些一線天的位態，或許就能知道應力與一線天的關係。隨後，回程先經過垂榕谷，也是非常陡直的峭壁，壁的頂端榕樹的根沿著峭壁一直往下生長，因此命名。銀龍洞和觀海樓都暫時封閉，此行並無參訪。

九、停駐點六：大鵬灣風景區

大鵬灣的形成乃因為林邊溪及東港溪日積月累從上游挾帶泥沙入海，經海流和季風的漂送形成沙嘴沈積地形，誕生南平半島，區隔了外海和內海水域，內海所圍成的水域即是瀉湖。大鵬灣瀉湖532公頃，瀉湖唯一出海口處也就是鵬灣跨海大橋之所在。俯瞰這片灣域形狀如囊袋，因此大鵬灣瀉湖被稱為單口囊狀瀉湖，也是目前台灣面積最大的單口囊狀瀉湖。

本次工程地質研討會最後一個停駐點，是比較輕鬆的行程，搭船遊瀉湖，並且請當地解說講解瀉湖的歷史、湖旁的裝置藝術、瀉湖的蚵田、紅樹林等。結束坐船遊湖的行程後，與會者前往旁邊的烤鮮蚵店，自助燒烤並品嚐美味的鮮蚵(圖十六)。



圖十六 與會者們自助烤鮮蚵

十、後記

這次工程地質研討會有很多熟悉的老面孔，也有很多年輕的新面孔，但讓與會者們驚喜的是創刊元老歐晉德與李建中博士的參加，雖然他們倆以前都有參加，但也是很久以前了。歐博士也分享提到，他一看到活動就趕快報名，他覺得地工技術辦的活動都很搶手，也分享說來恆春的前一天很興奮，向小學生要去校外教學一樣。對剛畢業的新鮮人來說，歐博士已經是老師的老師的老師；吳樂群老師也分享，歐博士是他以前在台大時候的老師，說他到現場才知道歐晉德博士有參加，他餘有榮焉，也很開心，興奮道出歐博士是他的偶像。

吃完烤鮮蚵後，歐晉德博士把地工技術的帽子脫下，請大家在帽子上簽名，以資紀念。

這趟行程讓與會者有滿滿的回憶，在開心的氣氛下，多了傳承的意味，從開刊元老，到現在的領隊、執行長，再到青年軍，以及第一次參加的新朋友們，地工技術邁向四十年，希望未來還有再更多的四十年，將地工技術、工程地質的理念傳承下去。

參考文獻

- 大鵬灣國家風景區(2022)· <https://www.dbnsa.gov.tw/Scenery-Area.aspx?lang=1&sno=04000026> (2022年8月22日)。
- 王執明(2000)，「台灣土地故事」，大地地理出版事業股份有限公司，192頁。
- 林殿順(2011)，「大台北地區特殊地質災害調查與監測第二期—台灣東北海域地質及地球物理資料彙編與分析：四年度總報告」，經濟部中央地質調查所報告(編號：100-04)。
- 陳文山、李偉彰(1990)，「西恆春臺地地層之檢討」，*地質*，第10卷，第2期，第127-140頁。
- 陳文山、鄭穎敏、黃奇瑜(1985)，「臺灣南部恆春半島之地質」，*地質*，第6卷，第2期，第47-74頁。
- 鄧屬予(2002)，「板塊間看台灣地震」，*科學發展*，第350頁，第12-19頁。
- 翰林雲端學院(2013)，「海蝕地形」，<https://www.ehanlin.com.tw/app/keyword/%E9%AB%98%E4%B8%AD/%E5%9C%B0%E7%90%86/%E6%B5%B7%E8%9D%95%E5%9C%B0%E5%BD%A2.html> (2022年8月22日)。
- Bouma, A. H. (1962). "Sedimentology of some Flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation". Amsterdam; New York: Elsevier.
- Hiscott, R. N. and Middleton, G. V. (1979). "Depositional Mechanics of Thick-Bedded Sandstones at the Base of a Submarine Slope," Tourelle Formation (Lower Ordovician), Quebec, Canada. *Geology of Continental Slopes, SEPM Special Publication*, 27, 307-326.
- Teng, L. S. (1990). "Geotectonic evolution of late Cenozoic arc-continent collision in Taiwan." *Tectonophysics*, 183(1-4), 57-76.